

Trattamento dei digestati agro-zootecnici per ridurre le emissioni e produrre Struvite

di Sergio Piccinini, Giuseppe Moscatelli, Arianna Pignagnoli
 Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA, Reggio Emilia

IL CONTESTO DELL'INNOVAZIONE STRUVITE E GLI OBIETTIVI

I digestati da effluenti zootecnici rappresentano un'ottima matrice fertilizzante per le colture e i terreni in quanto ricchi sia di macro e micro nutrienti che di sostanza organica. Il rovescio della medaglia è costituito dalla potenzialità emissiva (ammoniaca e gas serra) dei digestati durante le fasi di stoccaggio e spandimento. In Italia sono presenti aree ad elevata densità di allevamenti e di impianti di biogas in cui una gestione ottimale dei digestati zootecnici potrebbe contribuire ad una riduzione delle emissioni. Non solo, un trattamento dei digestati finalizzato anche al recupero dei nutrienti potrebbe favorire la delocalizzazione del surplus di azoto e fosforo dalle aree a elevata zootecnia verso aree invece caratterizzate da richiesta di concimi chimici, in accordo coi principi del Nutrient Recovery and Reuse e con i target del Farm to Fork.

L'obiettivo del Gruppo Operativo per l'Innovazione (GOI) Struvite (Iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale, Emilia-Romagna, di sviluppo rurale 2014-2020 – Tipo di operazione 16.1.01 – Gruppi operativi del partenariato europeo per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura – Focus Area 5D - Ridurre le emissioni di gas a effetto serra e di ammoniaca prodotte dall'agricoltura) è stato quello di diminuire il tenore di azoto (N) e fosforo (P) nei digestati zootecnici al fine di ridurre le emissioni in atmosfera di ammoniaca, metano e protossido d'azoto sia dalla fase di stoccaggio che di spandimento rispetto alle matrici tal quali. L'azoto e il fosforo recuperati dagli effluenti hanno prodotto un fertilizzante rinnovabile a lento rilascio (struvite) che può sostituire i fertilizzanti di sintesi. Per raggiungere questo obiettivo il GOI ha progettato e realizzato un sistema prototipale, a scala aziendale, in grado di estrarre struvite dagli effluenti e digestati zootecnici. Il GOI STRUVITE (<http://struvite.crpa.it/>) è stato coordinato dal CRPA di Reggio Emilia e ha visto in primis la partecipazione della Società Agricola Colombaro (sede delle attività), importante e storico allevamento suino di Formigine in provincia di Modena e socio CIB.



Figura 1 - Il prototipo per il recupero della struvite
 Figure 1 - The prototype for struvite recovery.

IL PROTOTIPO REALIZZATO

La prima fase delle attività ha visto la progettazione, realizzazione e installazione del prototipo presso l'impianto di biogas della Società Agricola Colombaro, con la collaborazione di CISA Impianti e SEPCOM - WAM Group, realtà specializzate nel trattamento di effluenti zootecnici ed agroindustriali. La digestione anaerobica comporta la mineralizzazione di parte dell'azoto organico presente nei liquami zootecnici in azoto ammoniacale e di parte del fosforo organico in

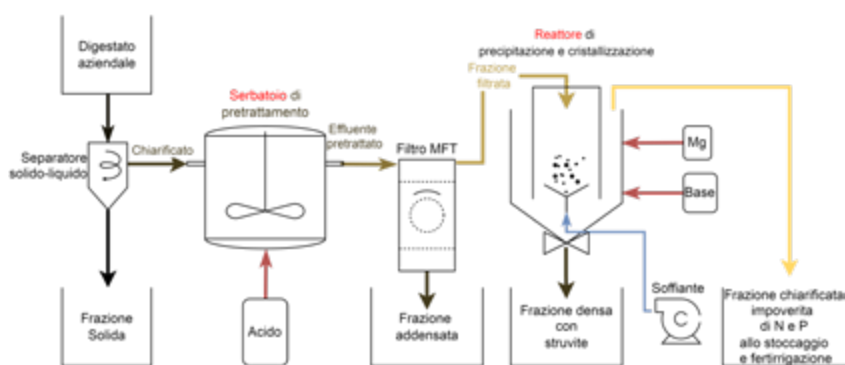


Figura 2 - Schema della linea di trattamento prototipale realizzata

ortofosfato inorganico. Pertanto il digestato, in uscita dalla digestione anaerobica, è una matrice ottimale da avviare al processo innovativo di recupero di azoto e fosforo per precipitazione e cristallizzazione di struvite (magnesio ammonio fosfato esaidrato - $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). Il componente principale del prototipo è un reattore cilindrico di cristallizzazione, concentrico a un reattore a cono rovesciato in cui avviene la successiva fase di precipitazione della struvite. Questa viene raccolta dal fondo mentre lo surnatante chiarificato trova luogo nell'estremità alta. Una soffiante insuffla aria, tramite una coppa porosa, all'interno del reattore cilindrico di cristallizzazione con la duplice funzione di miscelare e incrementare il pH attraverso lo strippaggio della CO_2 . Un pH basico del refluo, infatti, incrementa l'efficienza del processo di precipitazione della struvite. Prima del reattore di precipitazione e cristallizzazione è stato installato un sistema di microfiltrazione a 40 micron (MFT 500 SEPCOM), al fine di avviare alla cristallizzazione un refluo il più possibile privo di materiale sospeso e particolato solido grossolano, che ostacolerebbero la formazione della struvite.

I RISULTATI DELLE PROVE CON IL PROTOTIPO

Il prototipo è stato messo a punto e testato in varie prove; sono riportate di seguito, come esempio, le caratteristiche operative e i risultati ottenuti in 3 prove.

Prova **B2** in cui il digestato, chiarificato dal separatore solido-liquido aziendale e raccolto nel serbatoio (punto di campionamento della ma-

trice Chiarificato), viene pompato nel reattore di cristallizzazione concentrico. Qui permane per circa 90 minuti, durante i quali è sottoposto a insufflazione di aria per strappare CO_2 al fine di incrementarne il pH. In questa fase ha luogo la formazione di cristalli di struvite nel digestato. Nella successiva fase di trattamento, il digestato scende nel reattore di precipitazione, progettato per avere un tempo di ritenzione idraulica pari a 7 ore, durante le quali i solidi sospesi e la struvite formatasi sedimentano sul fondo del cono (punto di campionamento della matrice Precipitato). Il digestato, a fine processo, viene scaricato superficialmente dallo stramazzo posto sulla sommità del reattore (punto di campionamento della matrice Surnatante). I test condotti in modalità B2 non hanno previsto l'utilizzo di reagenti chimici. Nella prova **M1** si è aggiunta anche una soluzione al 15% di cloruro di magnesio ($MgCl_2$) all'interno del reattore di cristallizzazione, al fine di ottimizzare i rapporti stechiometrici N:P:Mg. La prova **T1**, infine, ha previsto: l'acidificazione con soluzione al 50% di H_2SO_4 all'interno del serbatoio, con conseguente riduzione del pH fino a 7,5; il successivo passaggio del digestato chiarificato acidificato attraverso il microfiltro con conseguente produzione e campionamento di Addensato e Microfiltrato e pompaggio di quest'ultimo nel reattore; basificazione con soluzione al 30% di NaOH in concomitanza con l'aggiunta di soluzione al 15% di $MgCl_2$ nel reattore.

In tutte le tre prove si è potuto osservare un aumento nel precipitato della concentrazione di N, P e Mg rispetto al digestato chiarificato di

partenza. La grossa riduzione della percentuale ortofosforica del fosforo totale nel precipitato T1 rispetto a quella del microfiltrato (8% vs 36%), in concomitanza con un aumento della concentrazione del fosforo totale (2247 vs 725 mg/kg tq), indica l'avvenuta precipitazione del fosforo ortofosforico, anche sotto forma di cristalli di struvite, come è stato confermato dall'osservazione al microscopio stereoscopico dei solidi contenuti nel precipitato.

I precipitati di tutte le prove, e in particolare della T1, hanno una discreta concentrazione di macronutrienti, e i rapporti stechiometrici N:P:Mg suggeriscono, nonostante l'eccesso di azoto, la presenza significativa di struvite. A seguito di un'ulteriore lavorazione/raffinazione queste matrici possono diventare un fertilizzante commerciabile ai sensi del Regolamento Europeo 2019/1009.

LE EMISSIONI

Il recupero di nutrienti dal digestato in una matrice stabile e di volume contenuto (precipitato) ha permesso di ottenere una frazione in uscita dal trattamento prototipale (surnatante) a ridotto tenore di azoto, fosforo e sostanza organica rispetto al digestato chiarificato in ingresso. Attività non secondarie del GOI Struvite sono state, pertanto, le misure in campo delle emissioni dalla fase di stoccaggio e spandimento delle matrici prodotte dal sistema di trattamento prototipale, rispetto al digestato chiarificato in ingresso. Le matrici sottoposte a monitoraggio sono state quelle ottenute durante i test T1 (Tabella 1 in fondo all'articolo) e nello specifico il digestato chiarificato, la frazione addensata acidificata in uscita dalla microfiltrazione, la frazione precipitata contenente struvite e la frazione surnatante impoverita di nutrienti.

Le emissioni di protossido d'azoto (N_2O) dallo stoccaggio sono risultate trascurabili e non significativamente diverse per le varie tesi in quanto matrici chiarificate e prive di crosta. Al contrario, le emissioni di metano dalle frazioni risultanti dal trattamento (precipitato e surnatante trattato) hanno mostrato una potenzialità emissiva di metano dell'86% inferiore rispetto al digestato in ingresso.

Le emissioni di ammoniaca dallo stoccaggio del surnatante trattato e dalla frazione addensata, acidificata da pH 8,3 a 7,5, sono risultate rispettivamente del 42% e 77% inferiori rispetto al digestato chiarificato in ingresso. La matrice precipitata, ricca in azoto, ha mostrato emissioni simili al digestato in ingresso; da sottolineare che nella gestione reale non si prevede lo stoccaggio prolungato di tale prodotto, che dovrebbe essere disidratato e/o ceduto a un'azienda che lo valorizzi come componente base per la produzione di concimi azoto-fosfatici.

Le emissioni azotate (sommatoria di azoto in NH_3 e N_2O), generate in seguito all'applicazione al suolo delle matrici trattate, sono risultate inferiori rispetto al digestato chiarificato: ridotte del 19% per il surnatante trattato, del 63% e del 19% rispettivamente per precipitato e addensato. Non sono state rilevate emissioni di metano dal suolo per alcuna matrice, in linea con le sperimentazioni internazionali che indicano tale criticità solo per i terreni anossici quali quelli delle risaie.

CONCLUSIONI

Il recupero di fosforo e azoto dai digestati agro-zootecnici attraverso lo sviluppo e l'implementazione del sistema prototipale Struvite è risultato tecnicamente fattibile; il precipitato contenente struvite deve, però, essere ulteriormente raffinato/valorizzato, ad esempio da un produttore di fertilizzanti, per poter effettivamente sostituire i minerali fosfatici con fosforo di recupero in accordo col nuovo regolamento europeo sui fertilizzanti.

Specialmente nelle prove con acidificazione, basificazione e microfiltrazione il surnatante risulta significativamente impoverito in azoto e fosforo rispetto al digestato chiarificato in ingresso. Infatti, il trattamento prototipale del digestato è stato efficace nel ridurre le emissioni di ammoniaca e gas serra, in particolare metano, dalla gestione dei digestati zootecnici. Il ridotto contenuto di azoto nel flusso di digestato in uscita dal trattamento ha permesso di ridurre le emissioni ammoniacali del 42% dallo stoccaggio e del 19% dallo spandimento rispetto al digestato chiarificato non trattato, mentre il limitato tenore di sostanza or-

ganica ha determinato una riduzione delle emissioni di metano dalla fase di stoccaggio dell'86%.

L'elevata concentrazione di solidi e sostanza organica nel digestato, anche se sottoposto a separazione solido/liquido, risulta invece ancora una criticità; il sistema di trattamento prototipale può e deve essere ulteriormente efficientato.

La sostenibilità ambientale dell'innovazione proposta dal GOI Struvite è stata stimata applicando la metodologia LCA - Life Cycle Assessment o analisi del ciclo di vita. L'analisi LCA ha valutato tutti gli input e output della fase di stoccaggio degli effluenti andando così a determinare l'Impronta Carbonica (IC) derivante dalla gestione innovativa degli effluenti (trattamento) rispetto a quella aziendale già in essere (controllo). I risultati dell'Impronta Carbonica riportano un maggior contributo al cambiamento climatico della gestione tradizionale degli effluenti zootecnici rispetto all'innovazione proposta dal GOI Struvite (27,7 kg CO_2 eq/ m^3 liquame del controllo rispetto a 18,5 kg CO_2 eq/ m^3 liquame del trattamento).

Avendo a disposizione i dati economici del solo sistema prototipale, la determinazione del bilancio economico di un sistema industriale che implementasse l'innovazione non risulta possibile, poiché interverrebbero economie di scala difficilmente stimabili. È, inoltre, difficilmente quantificabile il beneficio economico generato dalla riduzione del tenore di azoto e fosforo nei liquami, dalla riduzione delle emissioni in fase di stoccaggio e spandimento e dal recupero di struvite. Non è, quindi, possibile, a questo stadio dell'innovazione, valutare la sostenibilità economica del processo di recupero della struvite dai digestati agro-zootecnici su scala reale.

L'attività di ricerca e sviluppo, quindi, continuerà in un secondo progetto Struvite, appena iniziato e finanziato dal programma PR-FESR Emilia Romagna 2021-2027, Priorità 1: Ricerca, Innovazione e Competitività, che vedrà il coinvolgimento anche del CIB, con l'obiettivo di completare il lavoro sin qui svolto.

Treatment of agricultural digestates to reduce emissions and produce Struvite

STRUVITE INNOVATION CONTEXT AND OBJECTIVES

Digestates from animal manure are an excellent fertilizer for crops and soils as they are rich in both macro and micro nutrients and organic matter. The downside is the emissive potential (ammonia and greenhouse gases) of digestates during storage and spreading. Italy has areas with a high density of livestock farms and biogas plants where optimal management of agricultural digestates could contribute to a reduction in emissions. Not only that, a digestate treatment also aimed at nutrient recovery could facilitate the relocation of surplus nitrogen and phosphorus from high livestock areas to areas instead characterized by chemical fertilizer demand, in conjunction with Nutrient Recovery and Reuse principles and Farm to Fork targets.

The objective of the Struvite Operational Group (OG) (Initiative implemented under the Regional Program, Emilia-Romagna, Rural Development 2014-2020 - Operation Type 16.1.01 - Operational Groups of the European Partnership for Agricultural Productivity and Sustainability - Focus Area 5D - Reducing Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Agriculture) was to decrease the nitrogen (N) and phosphorus (P) content in agricultural digestates in order to reduce emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from both the storage and spreading phase compared to the raw matrices. The nitrogen and phosphorus recovered from the effluent produced a renewable slow-release fertilizer (struvite) that can replace chemical fertilizers. To achieve this goal, OG designed and implemented a prototype, a farm-scale system, capable of producing and extracting struvite from animal manure and digestates. The OG STRUVITE (<http://struvite.it>).

DECRETO BIOMETANO? CHIAMA L'ESPERTO TEAM.

450 IMPIANTI GESTITI ANNUALMENTE
300 IMPIANTI INCENTIVATI
120 DUE DILIGENCE TECNICHE
15 IMPIANTI BIOMETANO INCENTIVATI
100% DI RISULTATI POSITIVI

**NON UN SEMPLICE ESPERTO,
MA UNA SQUADRA VINCENTE
PER IL FUTURO SOSTENIBILE
DELLA TUA AZIENDA.**

CHIAMA CIB SERVICE
 **0371 46 62 678**

VISITA IL NUOVO SITO
 **cibservice.it**



AL SERVIZIO DEL TUO INCENTIVO.

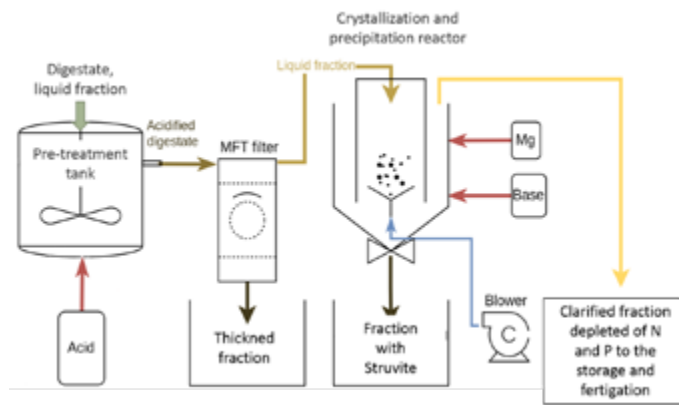


Figure 2 - Schematic diagram of the prototype treatment line

crpa.it/) was coordinated by the CRPA of Reggio Emilia and involved the participation of the Colombaro Farm (site of activities), an important and historic pig farm in Formigine, in the province of Modena, and a CIB member.

THE PROTOTYPE REALIZED

The first phase of activities involved the design, realization and installation of the prototype at the biogas plant of the Colombaro Farm, with the collaboration of CISA Impianti and SEPCOM - WAM Group, companies specializing in the treatment of livestock and agro-industrial effluents. In animal manure, anaerobic digestion involves the mineralization of part of the organic nitrogen to ammonia nitrogen and part of the organic phosphorus to inorganic orthophosphate. Therefore, the digestate, at the output of anaerobic digestion, is an optimal matrix to be initiated in the innovative process of nitrogen and phosphorus recovery by precipitation and crystallization of struvite (magnesium ammonium phosphate hexahydrate - $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$).

The main component of the prototype is a cylindrical crystallization reactor, concentric to an inverted cone reactor in which the stage of struvite precipitation takes place. Struvite is collected from the bottom while the discharge of the clarified supernatant takes place at the top end. A blower insufflates air, via a porous cup, inside the cylindrical crystallization reactor with the dual function of mixing and increasing pH through CO_2 stripping. A basic pH of the effluent, in fact, increases the efficiency of the struvite precipitation process. A 40-micron microfiltration

system (MFT 500 SEPCOM) was installed before the precipitation and crystallization reactor in order to send to crystallization an effluent as free as possible from suspended solids, which would hinder the formation of struvite.

THE RESULTS OF TESTING WITH THE PROTOTYPE

The prototype was set up and tested in various trials; the operational characteristics and results obtained in 3 trials are given below as an example. Test **B2** in which the digestate, clarified by solid-liquid separator and collected in the pre-treatment tank (Clarified matrix sampling point), is pumped into the crystallization reactor. Here it remains for about 90 minutes, during which it is subjected to air insufflation to strip CO_2 in order to increase pH. At this stage the formation of struvite crystals in the digestate takes place. In the next stage of treatment, the digestate descends into the precipitation reactor, designed to have a hydraulic retention time of 7 hours, during which the suspended solids and struvite formed settle to the bottom of the cone (Precipitate matrix sampling point). The digestate, at the end of the process, is discharged superficially from the weir located at the top of the reactor (Supernatant matrix sampling point). The tests conducted in B2 mode did not involve the use of chemical reagents. In test **M1**, a 15% solution of magnesium chloride ($MgCl_2$) was also added inside the crystallization reactor in order to optimize the stoichiometric ratios of N:P:Mg. Finally, the **T1** trial involved: acidification with 50% solution of H_2SO_4 within the tank, resulting in pH reduction to 7.5; subsequent passage of acidified

clarified digestate through the microfilter, resulting in the production and sampling of thickened and microfiltered and pumping the latter into the reactor; basification with 30% solution of NaOH concurrently with the addition of 15% solution of $MgCl_2$ into the reactor.

In all three tests, an increase in the concentration of N, P and Mg was observed in the precipitate compared to the starting clarified digestate. The large reduction in the orthophosphoric percentage of total phosphorus in the T1 precipitate compared with that in the microfiltered (8% vs 36%), concomitant with an increase in the concentration of total phosphorus (2247 vs 725 mg/kg tq), indicates that orthophosphoric phosphorus, including in the form of struvite crystals, has been precipitated, as was confirmed by stereoscopic microscope observation of the solids contained in the precipitate. The precipitates of all tests, and T1 in particular, have a fair concentration of macronutrients, and the stoichiometric N:P:Mg ratios suggest, despite the excess nitrogen, the significant presence of struvite. Upon further processing/refining these matrices can become a marketable fertilizer under European Regulation 2019/1009.

EMISSIONS

The recovery of nutrients from the digestate into a stable, low-volume matrix (precipitate) resulted in an output fraction from the prototype treatment (supernatant) with reduced nitrogen, phosphorus, and organic matter content compared to the incoming clarified digestate. Non-secondary activities of OG Struvite were, therefore, the field measurement of emissions from the storage and spreading phase of the matrices produced by the prototype treatment system, compared to the incoming clarified digestate. The matrices monitored were those obtained during the T1 tests (Table 1 at the bottom of the article) and specifically the clarified digestate, the acidified thickened fraction from microfiltration, the precipitated fraction containing struvite, and the nutrient-depleted supernatant fraction.

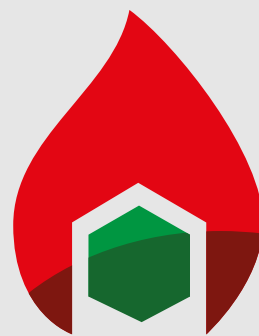
Nitrous oxide (N_2O) emissions from storage were negligible and not si-

STAI ANCORA TITUBANDO?

PARTECIPA AL BANDO PNRR
PER GLI **INCENTIVI BIOMETANO**.
CON IL TEAM PIÙ ESPERTO D'ITALIA.
RENDI SOSTENIBILE IL FUTURO
DELLA TUA AZIENDA.

CHIAMA CIB SERVICE
 **0371 46 62 678**

VISITA IL NUOVO SITO
 **cibservice.it**



CIB
SERVICE

AL SERVIZIO DEL TUO INCENTIVO.

nificantly different for the different theses as clarified and crust-free matrices. In contrast, methane emissions from the fractions resulting from treatment (precipitate and treated supernatant) showed 86% lower methane emitting potential than the digestate input. Ammonia emissions from storage of the treated supernatant and the thickened fraction, acidified from pH 8.3 to 7.5, were 42% and 77% lower, respectively, than the incoming clarified digestate. The precipitated matrix, which is rich in nitrogen, showed similar emissions to the inlet digestate; it should be noted that in actual management there is no prolonged storage of this product, which should be dehydrated and/or given to a company that will enhance it as a basic component for nitrogen-phosphate fertilizer production.

Nitrogen emissions (summation of nitrogen in NH₃ and N₂O), generated as a result of land application of treated matrices, were lower than for clarified digestate: reduced by 19% for treated supernatant, 63% and 19% for precipitate and thickened, respectively. No methane emissions from soil were detected for any matrix, in line with international experiments that indicate such criticality only for anoxic soils such as those in rice fields.

CONCLUSIONS

The recovery of phosphorus and nitrogen from agricultural digestates through the development and

implementation of the prototype Struvite system is technically feasible; however, the struvite-containing precipitate needs to be further refined/valorized, e.g., by a fertilizer manufacturer, in order to effectively replace phosphate minerals with recovered phosphorus in accordance with the new European fertilizer regulation.

Especially in the tests with acidification, basification, and microfiltration, the supernatant is significantly depleted in nitrogen and phosphorus compared to the clarified digestate input. In fact, the prototype digestate treatment is effective in reducing ammonia and greenhouse gas emissions, particularly methane, from agricultural digestate management. The reduced nitrogen content in the digestate stream exiting treatment reduced ammonia emissions by 42% from storage and 19% from spreading compared to untreated clarified digestate, while the limited organic matter content resulted in an 86% reduction in methane emissions from the storage phase.

On the other hand, the high concentration of solids and organic matter in the digestate, even when subjected to solid/liquid separation, is still a critical issue; the prototype treatment system can and should be further efficient.

The environmental sustainability of OG Struvite's proposed innovation was estimated by applying the LCA - Life Cycle Assessment - methodology. The LCA analysis evaluated all

the inputs and outputs of the effluent storage phase thus going on to determine the Carbon Footprint (CF) resulting from the innovative effluent management (treatment) compared to the farm existing management (control). The Carbon Footprint results report a greater contribution to climate change from traditional manure management compared to the innovation proposed by OG Struvite (27.7 kg CO₂ eq/m³ slurry from control compared to 18.5 kg CO₂ eq/m³ slurry from treatment).

Having available the economic data of the prototype system only, the determination of the economic balance of an industrial system implementing the innovation is not possible, since economies of scale would intervene that are difficult to estimate. It is, moreover, difficult to quantify the economic benefit generated by reducing the nitrogen and phosphorus content of slurry, reducing emissions during storage and spreading, and recovering struvite. It is, therefore, not possible at this stage of innovation to assess the economic sustainability of the process of struvite recovery from agricultural digestates on a full scale.

The research and development activity, therefore, will continue in a second Struvite project, which has just started and is funded by the PR-FESR Emilia Romagna 2021-2027, Priority 1: Research, Innovation and Competitiveness program, which will also involve CIB, with the aim of completing the work done so far.

Prova	Matrice	pH	ST		SV		NTK		N-NH ₄ ⁺		P _{tot}		P-PO ₄ ³⁻		Mg	
			Test	Matrix	TS		VS		TKN		N-NH ₄ ⁺		P _{tot}		Mg	
[l]	[l]	[l]	[g/ kg tq]	[%tq]	[g/ kg tq]	[%ST]	[mg/ kg tq]	[%ST]	[mg/ kg tq]	[%NTK]	[mg/ kg tq]	[%ST]	[mg/ kg tq]	[%P _{tot}]	[mg/ kg tq]	[%ST]
B2	Chiarificato Clarified	8,3	50	5,0	32	65	4848	9,8	2870	59	1445	2,9	154	11	862	1,7
	Surnatante Surnatant	8,4	48	4,8	32	66	4800	9,9	2860	60	1390	2,9	156	11	827	1,7
	Precipitato Precipitate	8,0	87	8,7	48	55	6238	7,4	3356	54	2248	2,6	273	12	2959	3,4
T1	Chiarificato Clarified	8,3	51	5,1	34	66	5074	9,9	2919	58	1370	2,7	294	21	785	1,5
	Addensato Thickened	7,5	67	6,7	41	62	5293	7,9	3104	59	1756	2,6	340	19	1098	1,6
	Microfiltrato Microfiltered	7,5	42	4,2	26	61	4621	11,0	3051	66	725	1,7	260	36	335	0,8
	Surnatante Surnatant	9,1	36	3,6	16	45	4040	11,3	2782	69	367	1,0	112	31	272	0,8
	Precipitato Precipitate	10,1	103	10,3	54	52	6298	6,1	3740	59	2247	2,2	179	8	2684	2,6
M1	Chiarificato Clarified	8,3	50	5,0	32	65	4842	9,8	2900	60	1237	2,5	232	19	697	1,4
	Surnatante Surnatant	8,4	48	4,8	31	65	4671	9,7	2987	64	1378	2,9	228	17	760	1,6
	Precipitato Precipitate	10,0	94	9,4	46	49	5663	6,0	3560	63	2434	2,6	156	6	1645	1,8

Tabella 1 - Caratterizzazione di tutte le matrici in ingresso e uscita nelle diverse prove

Table 1 - Characterization of all input and output matrices in the different tests